

Kimmo Kuitunen

VALAISINUUDISTUKSEN  
INVESTOINNIN  
KANNATTAVUUDEN  
TUTKIMINEN

Opinnäytetyö  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma

Kesäkuu 2014



# KUVAILEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä
<b>Tekijä(t)</b> Kimmo Kuitunen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> <b>Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma.</b>
<b>Nimeke</b> Valaistusuudistuksen investoinnin kannattavuuden tutkiminen		
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin liikekiinteistöjen valaistuksen uudistamista energiatehokkaammaksi ja investoinnin kannattavuutta. Lisäksi tutkittiin yleisesti käytettyjä valaisintekniikoita sekä valaistuksen ohjaus- ja säätötekniikoita.</p> <p>Tutkittiin Suomessa yleisimmin käytettyjä investoinnin kannattavuuden laskentamalleja ja valittiin tarkasteluun kaksi yleisintä, jotka ovat investoinnin korollinen takaisinmaksuaika ja koroton takaisinmaksuaika. Valaistusuudistuksen investoinnin kannattavuuden tarkastelua varten laadittiin Excel – pohjainen laskin, joka laskee investoinnin korollisen- ja korottoman takaisinmaksuajan sekä määrittää kannattavuusprosentin sisäisen korkokannan menetelmällä. Laskimen testaamiseksi laadittiin esimerkkitapaus varastohallin valaistuksen uudistamisesta, jossa vanha valaistus korvataan nykyaikaisemmalla ja energiatehokkaammalla.</p> <p>Tutkimuksen mukaan sopivimman valaisintekniikat esimerkkikohteeseen ovat LED, monimetalli sekä loisteputkivalaisin. Investointilaskelmien perusteella kannattavin vaihtoehto on monimetallivalaisin, jolla investoinnin takaisinmaksuaika on 3,6 vuotta kun energian hinnan nousu on huomioitu. Laskennassa ei ole otettu huomioon valaisinten vaatimaa huoltoa, joka tulee ajankohtaiseksi ainakin monimetallivalaisimen ja loisteputkivalaisimen kohdalla.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> valaistuksen energiatehokkuus, energiahanke, energiatehokkuusinvestointi		
<b>Sivumäärä</b> 35 + 6 (liitteet)	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b> NBN:fi:mamk-opinn2014A9391
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Arto Kohvakka		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> -

## DESCRIPTION

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 0;">MAMK</div> <div style="font-size: 0.8em; margin: 0;">University of Applied Sciences</div> </div>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  	
<b>Author(s)</b> Kimmo Kuitunen		<b>Degree programme and option</b> Electrical engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Profitability analysis of lightning reform investment.			
<b>Abstract</b>  <p>In this thesis work I examined the energy efficiency of lightning in commercial buildings and the profitability of the lightning reform investment. In addition, I examined the commonly used lightning technologies as well as lightning control and adjustment techniques.</p> <p>I studied the most commonly used return on investment calculation models and was chosen by the examination of the three most common models. The most common calculation models are interest-bearing investment, the repayment period and interest-free repayment period. I designed Excel -based calculator that calculates profitability of lightning reform. The calculator uses the three above-mentioned profitability models. By testing the calculator I made fictional example project which the storage hall lightning is to be renewed. The most appropriate lightning techniques for example project are LED, metal halide and fluorescent lamp. Calculator shows that the metal halide is the most profitable option. Investment pay-back period is 3, 6 years when the rise in energy prices is taken into account.</p> <p>Of lightning maintenance costs are not included in the calculation. Metal halide lamps needs more maintenance than LED or fluorescent lamps.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Lightning energy efficiency, energy efficiency project, lightning.			
<b>Pages</b> 35 + 6 appendices	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b> NBN:fi:mamk-opinn2014A9391	
<b>Remarks, notes on appendices</b>  			
<b>Tutor</b>  Arto Kohvakka		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  -	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	ENERGIATEHOKKUUSSOPIMUKSET .....	2
3	VALAISTUKSEN ENERGIATEHOKKUUS KIINTEISTÖISSÄ .....	3
3.1	Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset .....	3
3.2	Tutkimuksen rakenne.....	4
4	VALAISINTEKNIikka .....	4
4.1	Käsitteet .....	4
4.1.1	Valaistusvoimakkuus ja valotehokkuus .....	4
4.1.2	Väriämpötila .....	6
4.1.3	Värintoistoindeksi .....	7
5	VALONLÄHTEET .....	9
5.1	LED.....	9
5.2	Hehkulamppu.....	11
5.3	Halogeeni .....	11
5.4	Monimetalli.....	12
5.5	Suurpainenatrium.....	12
5.6	Loisteputki .....	13
6	VALAISTUKSEN OHJAUSTEKNIikka .....	14
6.1	Väyläohjattu valaistus.....	14
6.2	1-10V ohjaus.....	14
6.3	ON/OFF – ohjaus.....	15
7	VALAISTUKSEN SÄÄTÖTEKNIikka .....	15
7.1	Vakiovalosäätö .....	15
7.2	Läsnäolotunnistus / liiketunnistus.....	17
7.3	Aikaohjelmaan perustuva ohjaus .....	18
8	VALAISTUSSUUNNITTELU .....	18
9	INVESTOINTILASKELMAT .....	19
9.1	Takaisinmaksuaika .....	20
9.2	Energian hinnan muutos .....	21
10	ESIMERKKILASKENTA VALAISTUKSEN UUSINNASTA.....	23

10.1	Energiansäästöpotentiali .....	23
10.2	Valaisinten uusimisen investointikustannus .....	24
10.3	Investoinnin kannattavuuden laskentamalli.....	25
11	TULOKSET .....	28
12	YHTEENVETO .....	30
13	POHDINTA .....	31
	LÄHTEET.....	32
LIITTEET		
1	Eri valaisinvaihtoehtojen Dialux – mitoitukset	
2	Eri valaisinvaihtoehtojen kannattavuuden tarkastelu Excel – laskurilla	

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan valaistuksen energiatehokkuuden parantamista olemassa olevien suurien kiinteistöjen ns. toissijaisilla alueilla ja näihin soveltuvia valaistustekniikoita. Usein sisätilojen valaistukseen kiinnitetään paljon huomiota, mutta paljon energiaa kuluttavat piha-alueiden ja kylmien varastohallien ja katosten valaistus jää huomiotta. Vanhan valaistuksen uudistaminen energiatehokkaammaksi on kannattavaa jo pelkästään investointihankkeen tuottoa ajatellen ja valtiolta on mahdollista saada 15–25 % rahallista tukea valaistuksen energiatehokkuutta parantavaan investointiin.

Tutkimusta varten laadittiin fiktiivinen esimerkkikohde, joka vastaa rautakaupan kylmää varastohallia. Kohteeseen laadittiin uudet valaistussuunnitelmat kolmella soveltuvalla valaisintekniikalla, jotka ovat monimetallivalaisin, LED ja loisteputkivalaisin.

Valaistusuudistuksen kannattavuuden tutkimisessa käytetään korollisen takaisinmaksujan menetelmää, koska se on käytetyin investoinnin kannattavuuden laskentamenetelmä suurimmissa suomalaisissa pörssiyhtiöissä. Laskentaa varten laadittiin Excel-laskin, joka lähtötietojen perusteella laskee investoinnin kannattavuuden.

Tutkimuksen perusteella monimetalli ja LED ovat sopivimmat vaihtoehdot esimerkkikohteena käytetyn kylmän varastohallin valaistusuudistukseen. Myös loisteputkivalaisimia voi käyttää varauksin. Investointilaskelmien mukaan taloudellisesti kannattavin vaihtoehto valaisinuudistukseen on monimetallivalaisin, jolla investoinnin korollinen takaisinmaksuaika on 3,6 vuotta, kun investointi on 10 300€ ja energian hinnan nousu on huomioitu korkotekijällä 0,041.

## 2 ENERGIA TEHOKKUUS SOPIMUKSET

Kiinnostus kiinteistöjen energiatehokkuuteen ja energiansäästötoimiin on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina julkisella sekä yksityisellä sektorilla. Tähänkin asti esimerkiksi puunjalostusteollisuudessa on kiinnitetty huomiota hukkaenergian talteenottamiseen ja energian uudelleenhyödyntämiseen jossain prosessin vaiheessa. Mutta mikäli energiaa ei voida hyödyntää sellaisenaan prosessissa, sen talteenottamista ja hyödyntämistä, vaikkapa talotekniikan sovelluksissa ei ole pidetty järkevänä.

Kiristynvä kilpailutilanne ja säästöpainet ovat aiheuttaneet sen, että kiinteistöjen energiatehokkuuteen kiinnitetään entistä enemmän huomiota ja kustannussäästöjä, ja siten parempaa tulosta, haetaan tätä kautta. Suomen valtio on laatinut energiatehokkuussopimusmallin, jonka tarkoituksena on tukea julkisen ja yksityisen sektorin investointeja jotka tähtäävät energiatehokkuuden parantamiseen. Sopimukseen liittyminen edellyttää pitkän tähtäimen sitoutumista energiansäästötoimien ja energiatehokkuuden parantamiseen. Sopimukseen liittyminen mahdollistaa energiatuen saamisen energiatehokkuutta parantaviin investointeihin. Lisäksi tukea saa energiakatselmuksiin ja analyysiin [2]. Yritys voi saada valtiolta energiatehokkuusinvestointia varten 15...25 % suuruisen tuen. Tuen edellytyksenä on, että investoinnin takaisinmaksuaika on korkeintaan 10 vuotta, yritys on liittynyt energiatehokkuussopimukseen ja hanke toteutetaan ESCO-hankkeena. Esimerkiksi jos valaistuksen energiatehokkuutta parannetaan 100 000 € suuruisella investoinnilla, jonka takaisinmaksuaika on korkeintaan 10 vuotta, yritys voi saada tekemästään investoinnista 25 000 € takaisin valtiolta energiatuen muodossa.

Suomi on laatinut pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian, jota pyritään toteuttamaan energiatehokkuussopimusjärjestelmän avulla. Suomen ilmasto- ja energiastrategiaa ohjaavina sopimuksina toimivat EU:n ilmasto- ja energiapaketti, kansainvälinen ilmastopöytäkirja (UNFCCC) sekä Kioton pöytäkirja. [1].

Energiatehokkuussopimuksilla tavoitellaan Suomessa 9 % energiansäästöä vuoteen 2016 mennessä. Säästöä haetaan päästökaupan ulkopuolella olevista kohderyhmistä. Sopimuksien tarkoituksena on tukea uusiutuvan energian käytön lisäämistä sekä vauhdittaa uuden energiatehokkaan teknologian kehitystä ja käyttöönottoa. [1].

### **3 VALAISTUKSEN ENERGIAATEHOKKUUS KIINTEISTÖISSÄ**

#### **3.1 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset**

Sisätilojen valaistukseen ja valaistuksenohjaukseen kiinnitetään paljon huomiota nykypäivänä, mutta ulkoalueiden ja katettujen varastojen valaistus jätetään vähäisemmälle huomiolle. Kohteesta riippuen ulkoalueiden ja varastojen, eli ns. toissijaisten tilojen, valaistus kuluttaa jopa enemmän energiaa kuin sisätilojen valaistus. Tässä tutkimuksessa käydään läpi ko. kohteiden perinteisimmät valaistusratkaisut ja sitä, millä toimenpiteillä energiatehokkuutta saadaan parannettua siten, että investoinnin takaisinmaksuaika pysyy kohtuullisena. Lisäksi tutkitaan Suomessa yleisesti käytettyjä investoinnin kannattavuuden laskentamenetelmiä ja laaditaan laskentamalli investoinnin korollisen takaisinmaksuajan laskemiseksi. Laskentamallin testaamiseksi laaditaan fiktiivinen esimerkkikohde, jonka valaistus on toteutettu epäenergiatehokkaasti ja jonka tekninen käyttöikä on lopussa. Tutkimus tehdään pääosin kirjallisuustutkimuksena. Tutkimuksen tavoitteen on selvittää toteutuskelpoiset valaistusratkaisut edellä mainittuihin kohteisiin sekä laatia laskentamalli, jonka avulla investoinnin kannattavuutta voidaan tutkia vastaavantyyppisissä kohteissa. Tutkimus on rajattu liikekiinteistöjen ns. toissijaisten alueiden valaistustekniikan ja soveltuvien valaistuksenohjausjärjestelmien tutkimiseen.

Investoinnin kannattavuuden tutkimisessa tarkastellaan tunnetuimpia laskentatapoja yleisellä tasolla ja tällä perusteella valitaan sopivin laskentatapa valaistuksen energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuuden tarkastelua varten.

Tutkimuksen tarkoituksena ei ole asettaa olemassa olevia valaisintekniikoita teknilliseen tai taloudelliseen paremmuusjärjestykseen, vaan tarkoituksena on tutkia olemassa olevia tekniikoita ja niiden soveltuvuutta esimerkkikohteeseen teknisessä ja taloudellisessa mielessä.



### 3.2 Tutkimuksen rakenne

Aluksi tutkitaan markkinoilla yleisesti saatavilla olevia valaisintekniikoita sekä valaistuksen ohjaus- ja säätötekniikoita. Tämän perusteella valitaan esimerkkikohteeseen teknisesti parhaiten soveltuva valaisintekniikka sekä ohjaus- ja säätötapa. Valaistustuudistuksen investoinnin kannattavuuden tarkastelua varten tutkitaan Suomessa investointihankkeiden elinkaarilaskelmissa yleisesti käytettyjä laskentamenetelmiä ja valitaan näistä yksi menetelmä, jolla tehdään investoinnin kannattavuuslaskelmat.

Esimerkkilaskentaa varten laaditaan fiktiivinen kohde, joka edustaa pinta-alan ja valaisintekniikan osalta Suomessa yleisesti käytössä olevaa rakennuskantaa. Esimerkkikohte mallinnetaan Dialux-ohjelmistolla ja ohjelmalla tehdään uudet valaistussuunnitelmat aiemmin valittuja valaisintekniikoita hyödyntäen. Valaistussuunnitelmasta saatujen energiankulutuslukemien perusteella tutkitaan investoinnin kannattavuutta.

## 4 VALAISINTEKNIikka

### 4.1 Käsitteet

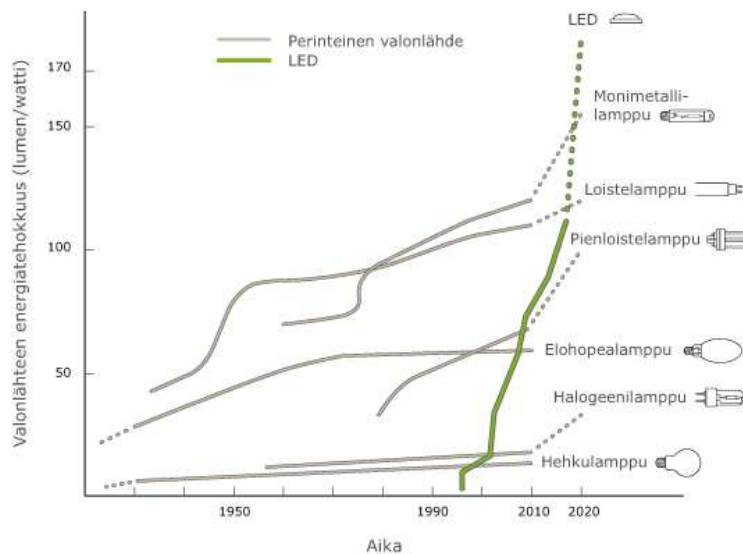
Valaistukseen liittyy runsaasti erilaisia määreitä ja käsitteitä, kuten valaistusvoimakkuus, värilämpötila ja värintoistoindeksi. Valaistusta suunniteltaessa tulee olla ymmärrys näistä käsitteistä, koska ne vaikuttavat oleellisesti valaistussuunnittelun ja ennen kaikkea toteutuksen lopputulokseen. Tässä tutkimuksessa käydään läpi oleellimmat valaistustekniikkaan liittyvät käsitteet ja niiden valaistuksen suunnittelussa ja lopputuloksessa.

#### 4.1.1 Valaistusvoimakkuus ja valotehokkuus

Valotehokkuus  $\eta$  kuvaa sitä, kuinka paljon valonlähteestä saadaan valoa suhteessa valonlähteen ottamaan sähkötehoon. Valotehokkuuden yksikkö on lm/W [3, s. 256].

$$\eta = \frac{lm}{W} \quad (1)$$

Valotehokkuus kuvaa myös valonlähteen hyötysuhdetta, ja sitä käytetään vertailtaessa eri valonlähteiden energiatehokkuutta.



**KUVA 1. Eri valonlähteiden energiatehokkuus ja sen kehittyminen [4, s.3]**

Valaistusvoimakkuus  $E$  on värintoistoindeksin ohella tärkein huomioon otettava asia valaistussuunnittelussa. Valaistusvoimakkuus  $E$  on pinnalle osuva valovirta pinta-alayksikkö kohden. Valaistusvoimakkuus kertoo, kuinka hyvin valaistavan alueen pinta on valaistu [3, s. 256].

Valaistusvoimakkuuden yksikkö on  $E$

$$[E] = \frac{lm}{m^2} = lx \text{ (luksi)} \quad (2)$$

Tarvittava valaistusvoimakkuus määräytyy valaistavan kohteen mukaan. Suurta tarkkuutta vaativassa työssä tarvitaan suurempaa valaistusvoimakkuutta, kun taas yleisvalaistukseen riittää huomattavasti pienempi valaistusvoimakkuus.

**TAULUKKO 1. Suositeltavia valaistusvoimakkuuksia [3, s.257]**

<b>Valaistava kohde</b>	<b>Suositeltava valaistusvoimakkuus (lx)</b>
Ulkotilat (pihat yms)	30
Porraskäytävät, eteisaulat	80
Keittiön yleisvalaistus	150
Luokkahuoneet (nuoret opiskelijat)	300
Luokkahuoneet (aikuiset opiskelijat)	500
Normaali toimistotyö	500
Erittäin suurta tarkkuutta vaativa työ	2000...5000

Valaistavan kohteen vaadittava valaistusvoimakkuus pitää olla tiedossa, kun valaistusta aletaan suunnitella.

#### **4.1.2 Värilämpötila**

Valonlähteen värilämpötila kertoo, onko valonlähde lämpimän, neutraalin vai kylmän valkoinen. Värilämpötilan yksikkö on Kelvin. Valkoisen valon värilämpötilan luokittelussa värilämpötilan käsite tarkoittaa ihanteellisen mustan kappaleen säteilemää valoa tietyssä lämpötilassa. Värilämpötilan käsitettä voidaan havainnollistaa jonkun tunnetun lämpösäteilijän avulla, kuten kuumaksi hehkutetun rautatangon avulla. Kun rautaa lämmitetään 1000K lämpötilaan, sen väri on punertava, 2000-3000K lämpötilassa rauta näyttää kellertävänvalkoiselta, 4000K lämpötilassa neutraalin valkoiselta ja 5000-7000K lämpötilassa rauta näyttää kylmänvalkoiselta. [10, s.8.] Kuvassa 2 on havainnollistettu eri värilämpötilojen ero. Oikealla LED-valaisimet, joiden värilämpötila on 2800K (lämpimän valkoinen) ja vasemmalla T5 loisteputket, joiden värilämpötila on 6500K (kylmän valkoinen).



**KUVA 2. Valonlähteiden värilämpötilojen eroja. Vasemmalla 6500K T5 loisteputki ja oikealla 2800K LED (Kuitunen 2014)**

Tutkimusten mukaan valaistuksen värilämpötilalla on vaikutusta ihmisen unihormonin eli melatoniinin tuotantoon. Kylmänsävyinen valo hidastaa melatoniinin tuotantoa ja auttaa ihmistä pysymään virkeämpänä. Vastaavasti keltaisen sävyisellä valolla on rentouttava vaikutus. Tulevaisuuden valaistussuunnittelussa tulisi ottaa tämä asia huomioon. Työtehon kannalta optimaalinen tilanne olisi, että aamulla valaistuksen värilämpötilaa säädetään kirkkaammaksi ja iltapäivällä värilämpötilaa säädetään enemmän keltaisen sävyiseksi, joka luo rentouttavaa vaikutusta. [14, s.42.]

#### **4.1.3 Värintoistoindeksi**

Valonlähteen värintoistoindeksi  $R_a$  kuvaa, kuinka hyvin valaistavan kohteen värit toistuvat verrattuna luonnonvaloon. Kaikkein luonnollisin valonlähde on aurinko, ja sen värintoistoindeksi on 100. Alle 100:n  $R_a$  – luku johtuu siitä, että valonlähde ei emittoi kaikkia värejä yhtä tasaisesti tai ei lainkaan. ”Esimerkiksi, jos emittoitu valo ei sisällä lainkaan punaista valoa tai tiettyjä aallonpituuksia, punaiset värit näyttäivät sen valossa harmailta” [4, s.9]. Sisätiloihin tarkoitetuille valaisimille värintoistoindeksiä 80 pidetään hyvänä arvona [4, s.9]. Ensimmäisissä LED-sovelluksissa värintoistoindeksi oli luokkaa 70, mutta värintoistoa on saatu parannettua käyttämällä erikoismateriaaleja diodien tuotannossa. Tämän ansiota nykytekniikalla tuotettujen LED –valonlähteiden värintoistoindeksi on luokkaa 95 [4, s.9].

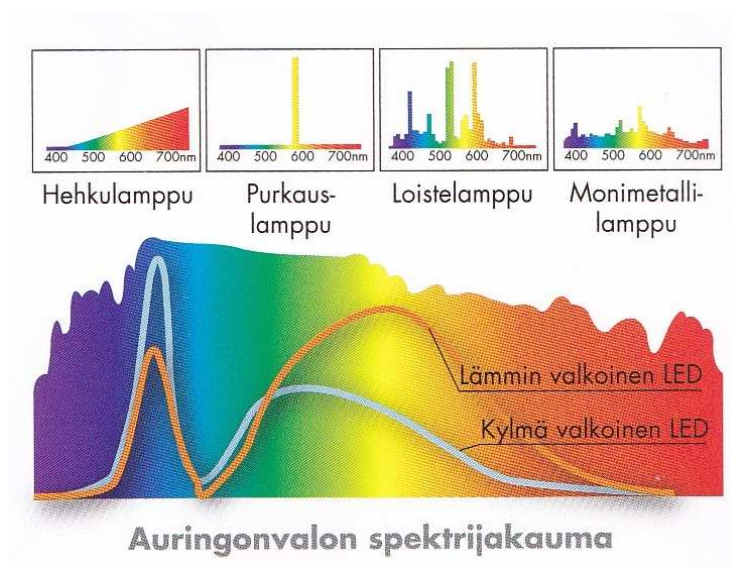
Värintoistoindeksillä on suuri vaikutus siihen, kuinka ihminen hahmottaa ympäristön. Tämän takia alhaisen värintoistoindeksin valaisimia ei yleensä käytetä sisätiloissa ja

esimerkiksi varastoissa, joissa ajetaan trukeilla tai, joissa tarvitaan muuten hyvää hahmotuskykyä työturvallisuuden takia.

\*Tietoa siitä että jotkut tilat vaativat tietynlaisen värintoistoindeksi. Värintoistoindeksi hahmotuskyvyn ja turvallisuuden kannalta. Suurilla yrityksillä omat ohjeistuksensa\*

## TAULUKKO 2. Lamputyypeille ominaisia värintoistoindeksejä [5]

Lamppu	Värintoistoindeksi $R_a$
Halogeeni	100
LED	70...95
Loistelamppu	80...94
Monimetallilamppu	83...96
Elohopeahöyrylamppu	75...90
Suurpainenatrium	alle 25



**KUVA 3. Eri valonlähteiden spektrijakaumia.**

## 5 VALONLÄHTEET

Lamppu tai valonlähde vaikuttaa oleellisesti valaisimen energiankulutukseen ja valoteknisiin ominaisuuksiin. Kullakin valonlähteellä on omat ominaisuutensa, joista tulee olla tietoinen valaistusta suunniteltaessa. Tässä tutkimuksessa tutkitaan yleisimmin käytössä olevia valonlähteitä ja niiden teknisiä ominaisuuksia.

### 5.1 LED

LED (Light-Emitting Diode) on valoa emittoiva puolijohdekomponentti. Ledejä on käytetty jo vuosikymmenien ajan esimerkiksi kodintekniikan laitteissa erivärisinä merkkivaloina. Tällöin puhutaan alle 1W tehoisista pienteholedeistä, joiden valaistusvoimakkuus ei ole kovin suuri ja muiden valoteknisten ominaisuuksien takia tuote ei sovellu valaistuskäyttöön. Viime vuosien aikana yli 1W tehoiset, eli niin kutsutut suurteholedit, ovat yleistyneet. Tekniikan kehittymisen myötä suurteholedien hintataso ja suorituskyky on saatu sille tasolle, että ne ovat varteenotettava vaihtoehto valaistusteollisuudelle. Nykyisin on saatavilla 50W tehoisia LED-valaisimia, jotka on toteutettu yhdellä LED – sirulla (**Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.**) [15].



**KUVA 4. Yhdellä 50W tehoisella LED-sirulla toteutettu valonheitin [15]**

Valoteholtaan tehokkaampia LED – valaisimia voidaan toteuttaa yhdistämällä useita suurteholedejä yhdeksi valaisimeksi, jolloin voidaan rakentaa periaatteessa niin tehokas valaisin kuin tarvitaan (Kuva 5) [16].



**Kuva 5 Useilla suurteholedeillä toteutettu LED -valaisin. Ottoteho 105W [16]**

Valaistuskäyttöä varten valon värin tulee olla valkoinen. Ledien tapauksessa valkoinen väri saadaan aikaiseksi päällystämällä sinistä valoa emittoiva led-siru keltaisella fosforilla. Toinen vaihtoehto on käyttää RGB-tekniikkaa. Tällöin sekoitetaan värejä kolmesta erivärisestä diodista (vihreä, punainen, sininen), jolla aikaansaadaan halutun värinen valaistus. [4, s.3]

LED – valonlähde soveltuu hyvin himmennettäväksi, ja se saavuttaa täyden valotehon lähes heti virran kytkemisen jälkeen. Lisäksi LED – diodin hyötysuhde on hyvä ja oikeissa olosuhteissa LED –diodin käyttöikä on pitkä. Tulevaisuudessa LED – diodilta odotetaan 200lm/W hyötysuhdetta ja LED – valaisimelta 160 lm/W hyötysuhdetta [4, s.3].

Ylilämpö heikentää LED – sirun valotehoa ja lyhentää sen elinikää. Tämän takia LED – valaisin ei välttämättä sovellu kaikkiin kohteisiin, joissa ympäristön lämpötila on jatkuvasti yli +45 °C. Ympäristön lämpötilasta huolimatta valaisimen suunnitteluvaiheessa tulee huolehtia siitä, että sirun kehittämä lämpö johdetaan tehokkaasti pois valaisimesta. Yksi vaihtoehto ylilämmön poisjohtamiseksi on rakentaa valaisin hyvin lämpöä johtavasta materiaalista ja johtaa lämpö pois jäähdytysrivojen avulla. (KUVA 6.)



**KUVA 6. GU10 LED -lamppu. Runko ja jäähdytysrivat alumiiniseosta [17]**

## 5.2 Hehkulamppu

Hehkulamppu on perinteisin ja vanhin lampputyyppi. Volframilangan läpi johdetaan sähkövirtaa, jonka vaikutuksesta lanka kuumenee ja alkaa hehkua tuottaen valoa. Hehkulamppu on energiatehokkuudeltaan huono. Noin 5 % lampun ottamasta sähköenergiasta tuottaa valoa ja muu osuus muuttuu lämmöksi. [18.]

Hehkulamppujen valmistusta ja maahantuontia on asteittain rajoitettu Suomessa vuodesta 2009 lähtien. Vuoden 2012 jälkeen kaikkien perinteisimpien valaistuksessa käytettyjen hehkulamppumallien valmistus ja maahantuonti on kielletty Suomessa. Lamppuja saa kuitenkin myydä vielä niin pitkään kuin kaupoilla ja maahantuojilla on tuotteita varastoissa. [19]

## 5.3 Halogeeni

Halogeenilamppu vastaa tekniikaltaan ja ulkonäöltään pitkälti hehkulamppua. Silti halogeenilamppu on energiatehokkuudeltaan 30 % ja kestoiältään kaksi kertaa hehkulamppua parempi. Lamppujen energiatehokkuutta koskeva EU-direktiivi vaikuttaa myös halogeenilamppuihin. Käytännössä perinteiset halogeenilamput tulevat asteittain poistumaan vuoteen 2016 mennessä. Markkinoilla on olemassa perinteistä halogeenia energiatehokkaampia lamppuja, jotka tullaan todennäköisesti sallimaan vuoden 2016 jälkeen. Nämä B-energiatehokkuusluokan lamput ovat 50 % energiatehokkaampia kuin perinteiset hehkulamput. [20.]



Halogeenilamppua voidaan himmentää, ja se syttyy täyteen kirkkauteensa käytännössä heti virran kytkemisen jälkeen. Halogeenilampulla on paras mahdollinen värintoistoindeksi ( $R_a=100$ ), jonka takia sitä suositaan erityisesti myymälävalaistuksessa, kun halutaan korostaa tiettyjä tuotteita.

#### 5.4 Monimetalli

Monimetalli, eli purkauslampulla saadaan runsaasti valoa suhteellisen hyvällä hyötysuhteella. Monimetallilampulle on ominaista hyvä värintoistokyky ja sitä on saatavilla puhtaan valkealla (5300K) värilämpötilalla. [21.]

Monimetallilamppu vaatii varsin pitkän ajan saavuttaakseen täyden valotehon syttämisen jälkeen. Tämän takia ei sovellu liiketunnistimella toteutettavaan ON/OFF – tyyppiseen ohjaukseen, jossa valaistavan alueen käyttö koostuu useista lyhyistä jaksoista. Lamputyyppejä käytetään yleensä kävelyteiden, puistojen ja piha-alueiden valaisuun sen hyvien ominaisuuksien takia. Käytetään suurissa teollisuushalleissa ja varastoissa, joissa vaaditaan paljon valotehoa ja hyvää värintoistokykyä. Lampun polttoikä suhteellisen lyhyt verrattuna LED – valaisimeen. Monimetallivalaisin on hankintahinnaltaan edullinen valoteholtaan vastaavaan LED – valaisimeen verrattuna.



**Kuva 7** Tyypillisiä monimetallivalaisimia. Vasemmalla kattoon asennettava malli ja keskellä valonheitin. Oikealla syväsiteilijä jota tyypillisesti käytetään isoissa, korkeissa ja avarissa tiloissa.

#### 5.5 Suurpainenatrium

Suurpainenatriumlamppu on monimetallilampun tavoin purkauslamppu, jolla on monimetallin tavoin kohtalaisen hyvä valotehokkuus ( $\sim 140 \text{ lm/W}$ ). Suurpainenatriumlampulle on ominaista varsin heikko värintoistoindeksi ( $R_a < 25$ ) ja kellertävän

(2000K) sävyinen valo [5, s. 292]. Monimetallilampusta poiketen suurpainenatriumille luvataan pidempi kestoikä. Hitaan syttymisen vuoksi ei sovellu liiketunnistimella toteutettavaan ON/OFF-tyyppiseen ohjaukseen, jossa valaistavan alueen käyttö koostuu useista lyhyistä jaksoista. Omaisuksiensa takia käytetään lähinnä tiealueiden ja laajojen piha-alueiden valaistuksessa, jossa vaaditaan runsaasti valotehoa, mutta värin- toistolla tai valon värillä ei ole merkitystä.



**Kuva 8 Suurpainenatriumvalaisimilla valaistu tie [25]**

## **5.6 Loisteputki**

Loisteputken valotehoa voidaan säätää portaattomasti ja nykyiset valaisimet saavuttavat täyden valotehon nopeasti sytyttämisen jälkeen. Kehittyneillä loisteputkilla päästään kohtalaiseen valotehokkuuteen (80...100 lm/W), hyvään värintoistoindeksiin ( $R_a$  80...89) ja kohtuullisen pitkään käyttöikään (24 000h) [5, s.192]. Loisteputkia on saatavissa useilla eri värilämpötiloilla (2700K, 3000K, 4000K, 6500K..). Kylmissä pakka- solosuhteissa loisteputken valoteho jää huomattavan alhaiseksi tai loisteputki ei syty lainkaan. Tämä rajoittaa loisteputken käyttöä ulkona ja kylmissä varastohalleissa.

## 6 VALAISTUKSEN OHJAUSTEKNIikka

Valaistuksen ohjaustekniikalla ja säätötekniikalla on suuri merkitys valaistuksen energiankulutukseen ja valonlähteen kestoikään. Tämän takia valaistussuunnitelmaa tehtäessä tulee aina miettiä, mitkä ovat soveltuvimmat ohjaus- ja säätötekniikat, jotta valaistusta voidaan ohjata energiatehokkaasti.

### 6.1 Väyläohjattu valaistus

Väyläohjatussa valaistuksenohjauksessa valaisimille annetaan tilatieto erillisen ohjausväylän kautta. Valaisimen ominaisuuksista riippuen väylän kautta ohjataan valaisin päälle ja pois päältä, säädetään himmennystä tai säädetään valaisimen väriä (RGB). Väyläohjauksessa on oleellista, että jokainen valaisin näkyy väylässä omana yksikkönään, jolla on yksilöllinen osoite, tällöin puhutaan osoitteellisesta järjestelmästä. Tämän ansiosta jokaista valaisinta voidaan ohjata erikseen halutulla tavalla. Suomessa yleisimmin käytetyt valaistusohtausväylät ovat Dali ja KNX. Edellä mainittuihin järjestelmiin on mahdollista kytkeä myös muita laitteita, kuten verho-ohjaimia, sensoreita (vakiovalo, läsnäolotunnistus), releyksiköitä, I/O – moduuleita ja kauko-ohjaimia. KNX tukee myös muita talotekniikkaan liittyviä sovelluksia, kuten ilmanvaihdon ja lämmityksen ohjausta.

### 6.2 1-10V ohjaus

Himmennettävissä olevalla valonlähteellä oleva valaisin voidaan varustaa liitäntälaitteella, jota ohjataan 1-10V jänniteviestillä. Ohjausjännitettä varten tarvitaan väyläkaapelointia vastaava erillinen kaapelointi, mutta 1-10V järjestelmässä valaisimet eivät ole osoitteellisia. Tämän takia yhden yksittäisen valaisimen himmentämiseksi tarvitaan aina erillinen ohjain. Yhdellä ohjaimella voidaan säätää yhtä yksittäistä valaisinta tai suurempia valaisinryhmiä, mutta ei kumpaakin yhtä aikaa. Ohjausjännite ja siten myös valaistuksen taso voidaan säätää manuaalisesti tai ohjausjännite voidaan ottaa vakiovalosäätimestä, liiketunnistimesta tai rakennusautomaatiojärjestelmästä.

### **6.3 ON/OFF – ohjaus**

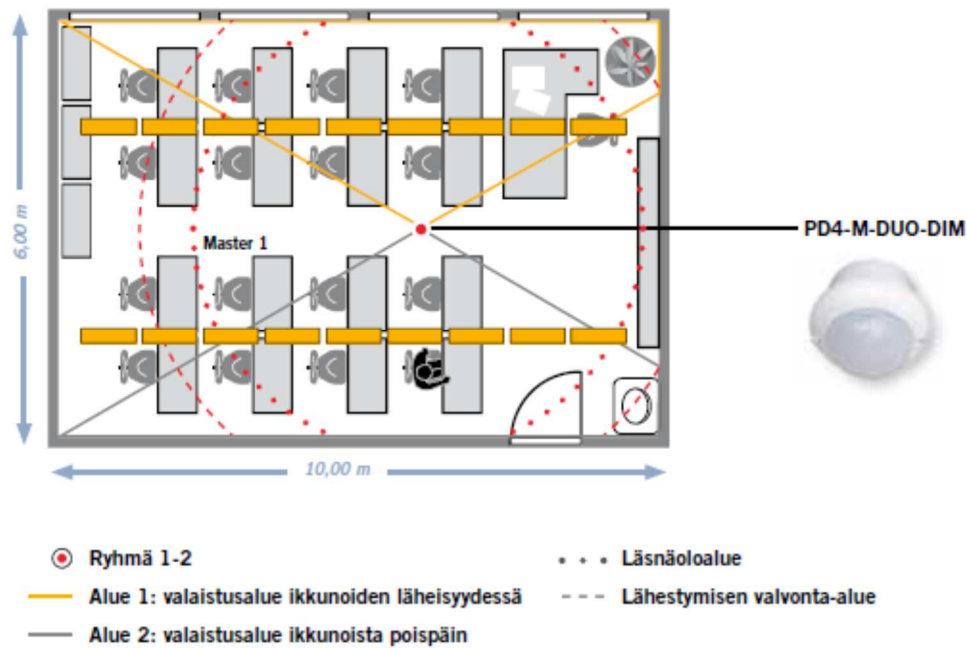
Perinteisin valaistuksen ohjaustapa on on/off – ohjaus. Tässä ohjaustavassa valaisimen virransyöttöä ohjataan manuaalisesti sen mukaan, halutaanko valaistus päälle tai pois. Asuinhuoneistojen valaistuksen ohjaus on perinteisesti toteutettu tällä periaatteella.

## **7 VALAISTUKSEN SÄÄTÖTEKNIikka**

Valaistuksen säätötekniikalla tarkoitetaan tapaa, jolla valaistus säädetään päälle tai pois tai säädetään valaistuksen tehoa. Säätötekniikan toteutuksella on oleellinen merkitys valaistuksen energiankulutukseen. Hyvä säätötekniikka tarjoaa käyttäjälle riittävän valon siellä, missä sitä tarvitaan ja jättää muut alueet huomiotta, mikäli niiden valaisemiselle ei ole tarvetta. Hyvän ja energiatehokkaan säädön aikaansaamiseksi joudutaan yleensä yhdistelemään edellä mainittuja säätötekniikoita.

### **7.1 Vakiovalosäätö**

Vakiovalosäätimeen asetetaan tilaan tai alueelle haluttu valaistustaso (lx). Säädin seuraa valoisuuden muutoksia, kuten ikkunoiden kautta tilaan tulevaa luonnon valoa ja säätää valaistusta siten, että haluttu valaistustaso saavutetaan. Vakiovalosäätöä käytetään tiloissa, joissa luonnonvalo vaikuttaa tilan valoisuuteen. Esimerkiksi luokkahuoneen ikkunaseinän puoleisia valaisimia voidaan ohjata vakiovalosäätimellä jos tiedetään, että tiettyinä vuodenaikoina pelkkä luonnonvalo tarjoaa riittävän valaistuksen. Vakiovalosäädin edellyttää, että valaisin on himmennettävissä.



**Kuva 9 Esimerkki vakiovalo-ohjauksen hyödyntämisestä luokkahuoneessa [12, s.145]**

Valaistustason mittaamiseen perustuvaa valaistuksen ohjausta käytetään yleisesti ulkovalojen ohjauksessa. Valaistusta ohjaavaan järjestelmään on liitetty ulos asennettu valoisuusanturi, joka mittaa valon määrää ja tämän tiedon perusteella valaistus sytytetään illalla ja sammutetaan aamulla. Yleensä ohjaus tapahtuu ON/OFF – periaatteella, koska valaisimet eivät ole himmennettävissä. Valot sytytetään, kun valoisuus on laskenut alle asetetun arvon ja sammutetaan, kun raja-arvo ylittyy auringon noustessa aamulla.

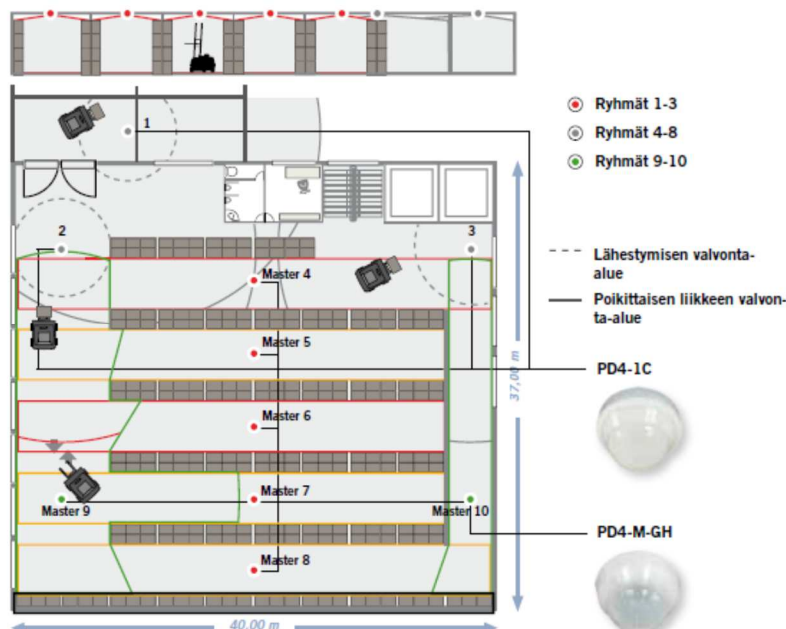


**Kuva 10 Kiinteistöautomaatiojärjestelmissä yleisesti käytetty valoisuuslähetin [13]**

## 7.2 Läsäolotunnistus / liiketunnistus

Valaistavaa tilaa tai aluetta valvotaan liiketunnistimilla tai läsnäolotunnistimilla, jotka säätävät valaistusta sen mukaan, onko valvottavalla alueella liikettä. Liiketunnistimella tarkoitetaan tunnistinmallia, joka reagoi huomattavaan liikkeeseen, kuten kävelevään henkilöön tai liikkuvaan ajoneuvoon. Läsäolotunnistin reagoi myös vähäisempään liikkeeseen, kuten toimistotyöhön. Edellä mainittujen lisäksi markkinoilla on muitakin tunnistinmalleja eri kohteita varten. Esimerkiksi porraskäytävien valaistusta varten on kehitetty akustinen tunnistin, joka seuraa ovien avaamisesta syntyviä infräänä ja sytyttää valaistuksen jo ennen käytävään astumista.

Läsäolotunnistusta /liiketunnistusta voidaan hyödyntää myös siten, että alue varustetaan useilla liiketunnistimilla ja valaistusta säädetään vain sillä alueella, jolla havaitaan liikettä (Kuva 11). Tällainen säätötapa tulee kyseeseen esimerkiksi pinta-alaltaan laajoissa varastoissa, joissa ei liikuta jatkuvasti. Käytävän valaistus palaa jatkuvasti 100 % teholla ja hyllyvälien valaistus on kokonaan pois tai palaa esimerkiksi 30 % teholla. Kun hyllyjen välissä havaitaan liikettä, tunnistin sytyttää valot tai nostaa valotehon 100 %:iin.



**Kuva 11** Esimerkki varastohallin vyöhykekohtaisesta valaistuksenohjauksesta [12, s.143]

### 7.3 Aikaohjelmaan perustuva ohjaus

Joissain kohteissa on järkevää käyttää aikaohjelmaan perustuvaa säätöä. Tällöin valaistus kytketään päälle ennalta ohjelmoidun aikaohjelman mukaisesti. Säätötapaa käytetään esimerkiksi liikerakennuksissa, joissa valaistuksen tarve on ennakoitavissa liikkeen aukioloaikojen mukaan ja valot voidaan ohjelmoida syttymään ja sammumaan kellonaikojen perusteella.

## 8 VALAISTUSSUUNNITTELU

Parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi valaistuksen suunnittelu pitää tehdä huolella ja käyttää siihen tarkoitettuja tietokoneohjelmia, esim. Dialux. Näin varmistutaan siitä, että valon määrä ja laatu vastaavat käyttäjän tarpeita. Ennen valaistussuunnittelun aloittamista suunnittelijalla pitää olla käytössä kohteen arkkitehtipohja, josta ilmenee kaikki valaistukseen liittyvät arkkitehtoniset seikat, kuten tilan mitat, ikkunoiden paikat ja ilmansuunnat. Tämän lisäksi tarvitaan tieto, mihin käyttöön tila tulee, eli millainen tulee olla valon laatu ja määrä. Tämän määrittäminen tekee tilaaja / rakennuttaja. Useilla suurilla toimijoilla on laadittuna yleisohjeet valaistuksen suunnitteluun. Esimerkiksi julkiselta sektorilta Tiehallinnon tievalaistuksen suunnitteluohje [6] on vapaasti ladattavissa Internetistä. Yksityisellä sektorilla yritykset ovat perinteisesti teettäneet suunnitteluohjeen konsulttitoimistolla ja nämä ohjeet eivät ole julkisia.

## 9 INVESTOINTILASKELMAT

Valaistuksen energiatehokkuuden parantaminen vanhoissa kohteissa vaatii lähes poikkeuksessa investointeja. Ennen investointipäätöstä tarkastellaan investoinnin kannattavuutta ja tutkitaan, vastaako se yrityksen investoinneille asettamia tuotto-odotuksia. Investointi sitoo aina pääomaa ja pääomalle on määritetty tuotto-odotus, jonka määrää yrityksen sisäinen laskentakorko. Investointiin sijoitetun rahamäärän tulee tehdä laskentajaksolla tuottoa tietyn määrän, jotta investointi on kannattava. Investointiehdotukset laitetaan yleensä paremmuusjärjestykseen sen mukaan, mikä investointi antaa sijoitetulle pääomalle parhaan tuoton ja vain parhaimmin tuottavat investoinnit toteutetaan.

Investointien kannattavuuden arvioinnissa voidaan käyttää useita eri menetelmiä. Suosituimpia näistä ovat takaisinmaksuaika, sisäinen korko, ROI sekä nykyarvomenetelmä. Vuonna 2004 tehdyn tutkimuksen mukaan takaisinmaksuaika on käytetyin laskentamenetelmä suurissa suomalaisissa pörssiyrityksissä [7, s.14]. Kyselyssä oli mukana 144 pörssi-yhtiötä, joista 32 % vastasi.

**TAULUKKO 3. Laskentamenetelmien käyttö Suomessa [7, s.14]**

Menetelmä	Ensisij. %	Ensi- tai toissij. %
Takaisinmaksuaika	38	97
Sisäinen korko	23	44
ROI	6	19
Nykyarvo	19	52

Tässä tutkimuksessa valaistuksen energiatehokkuusinvestoinnin tarkastelussa käytetään takaisinmaksuajan menetelmää.



## 9.1 Takaisinmaksuaika

Valaistuksen energiatehokkuusinvestoinnin kannattavuutta tarkastellaan korottoman ja korollisen takaisinmaksuajan avulla. Korottoman takaisinmaksuajan kaava on [10, s.40]:

$$\sum_{t=1}^{n^*} S_t - H = 0 \quad (3)$$

Jossa  $S_t$  on investoinnin vuosituotto ja  $H$  on investoinnin hankintameno ja  $n^*$  on pito-aika ja  $t$  on aika.

Investointi on kannattava, mikäli  $n^*$  on pienempi tai yhtä suuri kuin investoinnille asetettu vaatimustaso takaisinmaksuajasta.

Kaava voidaan kirjoittaa muotoon:

$$n^* = \frac{H}{S} \quad (4)$$

Korollisen takaisinmaksuajan kaava on [10, s.40]:

$$\sum_{t=1}^{n^*} \frac{S_t}{(1+i)^t} - H = 0 \quad (5)$$

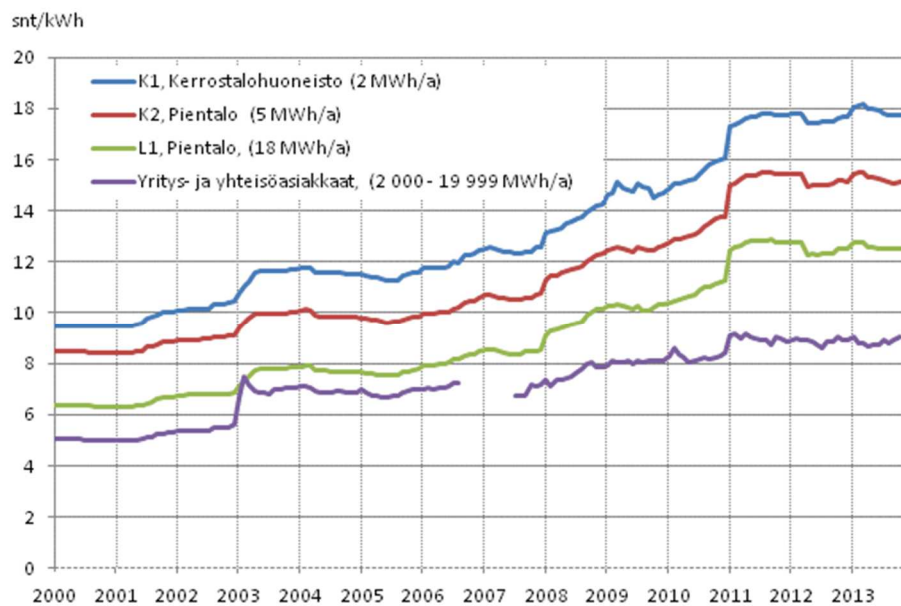
Jossa  $S_t$  on investoinnin vuosituotto ja  $H$  on investoinnin hankintameno ja  $n^*$  on pito-aika ja  $t$  on aika ja  $i$  on laskentakorko.

Kaava voidaan kirjoittaa muotoon:

$$n^* = \frac{\frac{H}{S}}{\frac{1}{(1+i)^t}} \quad (6)$$

## 9.2 Energian hinnan muutos

Valaistuksen energiatehokkuuden parantumisen myötä saatu kustannussäästö syntyy pääosin siitä, että uusi järjestelmä kuluttaa vähemmän sähköenergiaa vanhaan järjestelmään verrattuna. Tällöin sähköenergian hinta on merkittävä tekijä säästön/nettotuoton laskennassa. Sähköenergian hinta muuttuu jatkuvasti, ja vuositasolla tarkasteltuna energian hinta on ollut nousussa viimeiset 13 vuotta. Valaistukseen liittyvissä energiatehokkuushankkeissa takaisinmaksuaika on yleensä useita vuosia, joten energian hinnan nousu on syytä ottaa huomioon laskennassa. Energian hinnan nousu lyhentää takaisinmaksuaikaa ja siten parantaa investoinnin kannattavuutta. Energian hintaa voidaan ennustaa analyytikkojen antamien arvioiden perusteella tai määrittää arvio laskennallisesti toteutuneen hintakehityksen avulla. Tässä tutkimuksessa on käytetty laskennallisesti määritettyä energian hinnan kehitystä.



**KUVA 12. Sähkön hinnan kehitys [9]**

Tarkastellaan sähköenergian hinnan kehitystä aikavälillä 2003 – 2013. Kannattavuuslaskelmaa varten tulee määrittää energian kesimääräinen vuosittainen hinnan muutos. Käytetään sähköenergian vertailussa oheisen taulukon kohtaa ”Yritys- ja yhteisöasiakkaat”. Energian hinta vuonna 2003 on ollut 0,06 €/kWh ja vuonna 2013 noin 0,09 €/kWh.

Käytetään yksittäisen maksun päätearvon menetelmää, jonka kaava on:

$$L_n = (1 + i)^n A \quad (7)$$

jossa  $L_n$  on energian hinnan päätearvo ja  $i$  on korkokanta ja  $n$  on tarkastelujakso ja  $A$  on energian hinta tarkasteluhetkellä.

Ratkaistaan yksittäisen maksun päätearvon kaavasta muuttuja  $i$ , jolloin kaava saa muodon:

$$i = \left(\frac{L}{a}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (8)$$

Ratkaistaan korkotekijä  $i$ :

$$i = \left(\frac{0,09\text{€/MWh}}{0,06\text{€/MWh}}\right)^{\frac{1}{10}} - 1 = 0,041 \quad (9)$$

Jossa 0,09€/MWh on energian hinta vuonna 2013 ja 0,06€/MWh on energian hinta vuonna 2003 ja 10 on tarkastelujakson pituus (vuotta).

Energian hintakehityksen tarkastelussa käytetään korkotekijänä  $i$  lukua 0,041.

#### TAULUKKO 4. Energian hinnan laskennallinen kehitys, kun $i=0,041$

Vuosi	Energian hinta. €/MWh	
2003	<b>0,06</b>	Todellinen
2004	0,062	Laskennallinen
2005	0,065	Laskennallinen
2006	0,068	Laskennallinen
2007	0,071	Laskennallinen
2008	0,073	Laskennallinen
2009	0,077	Laskennallinen
2010	0,080	Laskennallinen
2011	0,083	Laskennallinen
2012	0,086	Laskennallinen
2013	<b>0,09</b>	Todellinen

## Korjausvelka

Teknisen laitteen tai järjestelmän korjausvelalla tarkoitetaan sitä, kuinka paljon vanhan laitteen tai järjestelmän uusiminen maksaisi. ”Korjausvelka on rahamäärä, joka tulisi investoida, jotta omaisuus saataisiin kohtuulliseen kuntoon” [8, s.2]. Kohteesta ja laskentatavasta riippuen korjausvelka voi alkaa muodostumaan heti siitä hetkestä lähtien, kun uusi laitteisto on otettu käyttöön. Tai vastaavasti kohteelle voidaan sallia lievä arvon alenema ja teknisten ominaisuuksien heikkeneminen, ennen kuin korjausvelka alkaa muodostua. Pitkäjänteisessä kiinteistöjen ylläpidossa korjausvelan kasvu tulee ottaa huomioon ja varautua siihen taloudellisesti. Tätä varten laaditaan kiinteistökohtainen PTS-suunnitelma. PTS – suunnitelmassa kartoitetaan kiinteistön tekniset järjestelmät ja rakenneosat ja verrataan niiden ikää vastaavan uuden rakenteen tekniseen käyttöikänsä. Näin tulevat saneeraukset osataan ajoittaa tulevaisuuteen ja varautua niihin taloudellisesti.

Hyvin tehty PTS – suunnitelma helpottaa energiansäästöhankeiden läpivientiä. Koska ainakin valaistusjärjestelmien kohdalla on yleistä, että järjestelmän tekninen käyttöikä on ohitettu tai sitä on enää vähän jäljellä. Joten järjestelmän uusiminen on perusteltua jo pelkästään sen huonon kunnon takia.

## 10 ESIMERKKILASKENTA VALAISTUKSEN UUSINNASTA

Valaistusuudistuksen investoinnin kannattavuuden tutkimiseksi laaditaan fiktiivinen esimerkkikohde, joka vastaa pinta-alaltaan ja valaistustekniikaltaan Suomessa yleisesti käytössä olevaa rakennuskantaa. Kohteeseen laaditaan uudet valaistussuunnitelmat Dialux-ohjelmistolla ja investoinnin kannattavuutta tarkastellaan korollisen takaisinmaksuajan perusteella. Korollisen takaisinmaksuajan tarkastelua varten laaditaan Excel-pohjainen laskin.

### 10.1 Energiansäästöpotentiaali

Tehdään esimerkkilaskenta valaistusmuutoksesta. Kohteena käytetään kuvitteellista rautakaupan kylmää varastohallia, jossa säilytetään rakennustarvikkeita. Hallissa on vanhat elohopeahöyrylamput varustetut valaisimet. Vanhoja valaisimia on yhteensä

48kpl ja niissä on 250W lamput. Valaisimen ottotehoksi arvioidaan noin 350W kun otetaan huomioon liitäntälaitteen hyötysuhde. Valaisimet ovat teknisen käyttöikänsä päässä.

Vanhan valaistuksen ottama teho:

$$350 \frac{W}{kpl} * 48kpl = 16,8kW \quad (10)$$

Jossa  $350 \frac{W}{kpl}$  on yhden valaisimen sähköverkosta ottama teho ja 48 kpl on vanhojen valaisinten lukumäärä.

Laaditaan valaistuslaskenta Dialux-ohjelmistolla. Valaistuksen tavoitetasoksi on asetettu 200 lx 0,85m korkeudella lattiasta. Värintoistoindeksin on oltava vähintään 75. Dialux-laskennan tulokset liitteenä. Taulukossa (TAULUKKO 55) on esitetty valaistuksen vuotuinen käyttöaika ja taulukossa (TAULUKKO 66) Dialux-laskennan yhteenvedo ja eri valaistusvaihtoehtojen vuotuinen energiankulutus.

#### TAULUKKO 5. Valaistuksen käyttöaika vuodessa

Päivä	Aukioloaika	Aukioloaika [h/vrk]	Aukiolopäiviä vuodessa	Yhteensä [h]
Ma-Pe	7-21	14	250	3500
La	9-18	9	52	468
Su	12-18	6	52	312
YHT.				4280

#### TAULUKKO 6. Yhteenvedo Dialux-laskennasta ja vuotuisesta energiankulutuksesta

Valaisintekniikka	Lukumäärä	ottoteho YHT. [kW]	Käyttöaika [h/a]	Energia [MWh/a]
LED	50	4,95	4280	21,2
Loisteputki	50	10,2	4280	43,7
Monimetalli	27	7,43	4280	31,8
Vanha elohopeahöyry	48	16,8	4280	71,9

### 10.2 Valaisinten uusimisen investointikustannus

Valaisinten uusimiselle tulee laskea investointikustannus. Kussakin tapauksessa investointi on suuruudeltaan eri. Oletetaan, että uudet valaisimet voidaan asentaa olemassa

oleviin valaistusripustuskiskoihin, mutta kaapelointi joudutaan uusimaan kokonaisuudessaan, koska vanhan kaapeloinnin hyödyntäminen ei olisi kustannustehokasta. Valaistusta ohjataan jatkossakin ON/OFF-periaatteella, eli valaistus on päällä täydellä teholla aina, kun varasto on avoinna. Investoinnin määrittämisessä käytetään kunkin valaisimen yleisesti saatavilla olevaan myyntihintaa. Sähköasennustöiden ja tarvikkeiden hinnoittelu perustuu arvioon.

#### TAULUKKO 7. Valaistuksen uusimisen kustannukset

Valaisintekniikka	Lukumäärä	€/kpl (sisältää valonlähteen)	Asennuksen työ- ja materiaalikustannus. €/kpl	Investointi YHT. €
LED	50	400	42,5	22 125 €
Loisteputki	50	110	42,5	7 625 €
Monimetalli	27	339	42,5	10 301 €

#### 10.3 Investoinnin kannattavuuden laskentamalli

Investoinnin kannattavuuden tarkastelua varten laaditaan Excel-laskuri, joka laskee investoinnille korollisen takaisinmaksuajan annettujen muuttujien perusteella. Korollisen takaisinmaksuajan menetelmässä laskenta tulee tehdä jokaiselle vuodelle erikseen ja lopuksi tarkastella, missä kohdin investoinnin kumulatiivinen kassavirta on muuttunut positiiviseksi.

Energian hinnan muutoksen korkotekijänä käytetään arvoa 0,041, joka on laskettu aiemmin kohdassa (9.2)

Käytettävä laskentakorko riippuu investointia tekevän yrityksen investoinnille asettamasta tuotto-odotuksessa. Tämä tieto on yrityksen sisäiseen laskentaan liittyvää ei-julkista tietoa. Tässä tutkimuksessa käytetään arvoa 10 %.

**TAULUKKO 8. Investoinnin kannattavuuden tarkastelu LED-valaisimilla toteutettuna**

<b>Valaistustekniikka: LED</b>	
<b>Laskennan lähtötiedot</b>	
Investointi [€]	22125
Energiansäästö [MWh/a]	50,7
Energian hinta [€/MWh]	85
Energian hinnan muutoksen korkotekijä	0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus	0,1
Korjausvelka [€]	0
<b>Laskennan tulokset</b>	
Takaisinmaksuaika, korollinen	7,6
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu	6,6
Sisäinen korko IRR	14 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu	18 %

**TAULUKKO 9. Investoinnin kannattavuuden tarkastelu monimetallivalaisimilla toteutettuna**

<b>Valaistustekniikka: Monimetalli</b>	
<b>Laskennan lähtötiedot</b>	
Investointi [€]	10301
Energiansäästö [MWh/a]	40,1
Energian hinta [€/MWh]	85
Energian hinnan muutoksen korkotekijä	0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus	0,1
Korjausvelka [€]	0
<b>Laskennan tulokset</b>	
Takaisinmaksuaika, korollinen	3,8
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu	3,6
Sisäinen korko IRR	31 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu	35 %

**TAULUKKO 10. Investoinnin kannattavuuden tarkastelu loisteputkivalaisimilla toteutettuna**

<b>Valaistustekniikka: Loisteputki</b>			
<b>Laskennan lähtötiedot</b>			
Investointi [€]			7625
Energiansäästö [MWh/a]			28,2
Energian hinta [€/MWh]			85
Energian hinnan muutoksen korkotekijä			0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus			0,1
Korjausvelka [€]			0
<b>Laskennan tulokset</b>			
Takaisinmaksuaika, korollinen			4,0
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu			3,8
Sisäinen korko IRR			29 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu			33 %

Laskelmien perusteella vanhat valaisimet tulisi korvata monimetallivalaisimilla, mikäli investoinnin kannattavuuden laskentaperusteena käytetään korollista takaisinmaksuaikaa.



## 11 TULOKSET

Tutkimuksen perusteella esimerkkikohteeseen soveltuvimmat valaisintyypit ovat monimetalli ja LED sekä varauksin loisteputki.

Investoinnin kannattavuuden laskennat eri menetelmillä esitetty alla olevissa taulukoissa (TAULUKKO 11, TAULUKKO 12 ja TAULUKKO 13 ).

### TAULUKKO 11. Laskennan tulokset

<b>Valaistustekniikka: LED</b>	
<b>Laskennan lähtötiedot</b>	
Investointi [€]	22125
Energiansäästö [MWh/a]	50,7
Energian hinta [€/MWh]	85
Energian hinnan muutoksen korkotekijä	0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus	0,1
Korjausvelka [€]	0
<b>Laskennan tulokset</b>	
Takaisinmaksuaika, korollinen	7,6
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu	6,6
Sisäinen korko IRR	14 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu	18 %

**TAULUKKO 12. Laskennan tulokset**

<b>Valaistustekniikka: Monimetalli</b>			
<b>Laskennan lähtötiedot</b>			
Investointi [€]			10301
Energiansäästö [MWh/a]			40,1
Energian hinta [€/MWh]			85
Energian hinnan muutoksen korkotekijä			0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus			0,1
Korjausvelka [€]			0
<b>Laskennan tulokset</b>			
Takaisinmaksuaika, korollinen			3,8
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu			3,6
Sisäinen korko IRR			31 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu			35 %

**TAULUKKO 13. Laskennan tulokset**

<b>Valaistustekniikka: Loisteputki</b>			
<b>Laskennan lähtötiedot</b>			
Investointi [€]			7625
Energiansäästö [MWh/a]			28,2
Energian hinta [€/MWh]			85
Energian hinnan muutoksen korkotekijä			0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus			0,1
Korjausvelka [€]			0
<b>Laskennan tulokset</b>			
Takaisinmaksuaika, korollinen			4,0
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu			3,8
Sisäinen korko IRR			29 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu			33 %

Käytetyt Excel-laskurit on esitetty liitteissä.

## 12 YHTEENVETO

Tutkimuksen perusteella esimerkkikohteen valaisinuudistus olisi kannattavinta toteuttaa monimetallivalaisimilla. Valaistuksen investoinnin hinnoittelussa on käytetty julkisesti saatavilla olevia hintoja ja asennuksen ja tarvikkeiden osuus on arvioitu. Kokemusperäisesti voidaan todeta, että valaisinten todelliset ostohinnat poikkeavat huomattavasti näistä hinnoista. Kohteesta tehdyt Dialux-simuloinnit eivät valaistusominaisuuksien puolesta vastaa täysin toisiaan ja tästä aiheutuu epäsuhtaisuutta eri valaistustekniikoita vertailtaessa. Valaistumuutosten investointikustannuksissa ei ole otettu huomioon valaisinten huoltokustannuksia, jotka tulevat ainakin loisteputkivalaisimilla ja monimetallivalaisimilla ajankohtaisiksi valaisimen teknisen käyttöiän aikana. Vuosittaiset huoltokustannukset voidaan syöttää Excel-laskurin riville ”investoinnit”. Loisteputkivalaisin ei välttämättä soveltuisi esimerkkikohteen kylmään varastohalliin, koska sen valoteho heikkenee huomattavasti kovilla pakkasilla.

Energian hinnan muutosvaikutus on määritetty laskennallisesti tarkastelemalla energian hintaa viimeisen kymmenen vuoden aikana. Tämän lisäksi olisi hyvä ottaa huomioon asiantuntijoiden laatimat ennusteet energian hinnan kehittymisestä.

## 13 POHDINTA

Opinnäytetyössä tutkittiin valaistuksen energiatehokkuuden parantamista olemassa olevien liikekiinteistöjen ns. toissijaisille alueille, kuten piha-alueet ja kylmät varastohallit ja katokset. Yleensä nämä alueet jäävät huomiotta ja sisätilojen valaistukseen kiinnitetään enemmän huomiota. Ulkotilojen valaistus kuluttaa kuitenkin paljon energiaa, joten siihen kohdistettavat energiansäästötoimet ovat yleensä kannattavia investointeja. Tutkittiin eri valaistustekniikoita ja valaistuksen ohjaus- ja säätötekniikoita ja niiden soveltuvuutta tarkastelun kohteena oleviin tiloihin. Tutkimusta varten laadittiin fiktiivinen esimerkkikohde, joka vastaa rautakaupan kylmää varastohallia. Kohteeseen laadittiin uudet valaistussuunnitelmat kolmella soveltuvalla valaisintekniikalla, jotka ovat monimetallivalaisin, LED ja loisteputkivalaisin.

Investoinnin kannattavuuden tutkimiseen valittiin korollisen takaisinmaksuajan menetelmä, koska se on suosituin laskentamenetelmä suurissa suomalaisissa pörssiyrityksissä. Kannattavuuden laskentaa varten laadittiin laskin Excel-ohjelmalla. Laskimeen syötetään laskennan lähtötiedot, ja laskennan tuloksena saadaan tiedot investoinnin kannattavuudesta.

Tutkimuksen perusteella esimerkkikohteeseen sopivimmat valaisintekniikat ovat monimetallivalaisin ja LED. Varauksin voidaan käyttää myös loisteputkivalaisinta. Investointilaskelmien perusteella kannattavin vaihtoehto on monimetallivalaisin, jolla investoinnin takaisinmaksuaika on 3,6 vuotta, kun energian hinnan nousu on huomioitu. Laskennassa ei ole otettu huomioon valaisinten vaatimaa huoltoa, joka tulee ajankohitaiseksi ainakin monimetallivalaisimen ja loisteputkivalaisimen kohdalla.

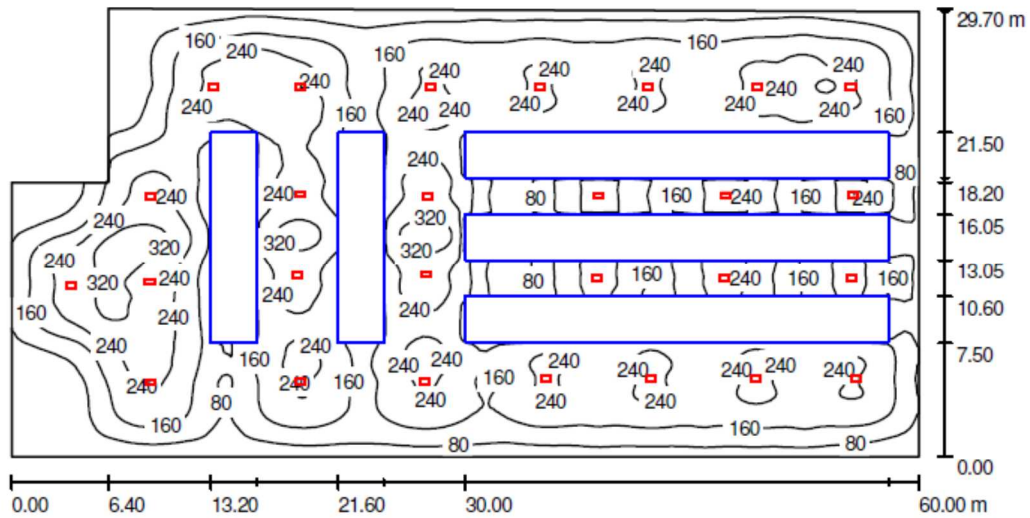
## LÄHTEET

- [1] Motiva. Tietoa energiatehokkuussopimuksista. Verkkodokumentti.  
[http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/tietoa\\_sopimuksista/taustat/](http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/tietoa_sopimuksista/taustat/). Julkaistu 13.12.2010. Luettu 26.1.2014
- [2] Motiva. Tietoa energiatehokkuussopimuksista. Verkkodokumentti.  
[http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/tietoa\\_sopimuksista/sopimukseen\\_liittyminen/](http://www.energiatehokkuussopimukset.fi/fi/tietoa_sopimuksista/sopimukseen_liittyminen/) Julkaistu 20.4.2011. Luettu 26.1.2014
- [3] Peltonen Hannu, Perkkiö Juha, Vierinen Kari. Insinöörin (AMK) fysiikka. Osa II. Saarijärvi. Lahden Teho-Opetus Oy. 2004.
- [4] Glamox Technology Team. Kymmenen asiaa jotka sinun tulee tietää ledeistä. Glamox Luxo Lightning, 2013.
- [5] Osram. Lightning Program 2012/2013. Saksa. Osram AG. 2012.
- [6] Tiehallinto. Tievalaistuksen suunnittelu. Helsinki. Edita Prima. 2006.  
Saatavana verkkodokumenttina:  
[http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist\\_suunn.pdf](http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100034-v-06tievalaist_suunn.pdf). Luettu: 22.2.2014
- [7] Liljeblom Eva, Vaihekoski Mika. Investment Evaluation Methods and Required Rate on Return in Finnish Publicly Listed Companies. 2004.
- [8] Rantanen Janne. Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittäminen. Espoo. Rapal Oy. 2013. Verkkodokumentti:  
<http://www.kuntatekniikka.fi/toimijat/skty/kuntatekniikan-paivat/2013/Documents/SKTY2013%20Rantanen%20Janne%20Korjausvelan%20m%C3%A4%C3%A4ritt%C3%A4minen.pdf> . Luettu: 23.2.2014

- [9] Tilastokeskus. Energian hinnat. Verkkodokumentti:  
[http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/03/ehi\\_2013\\_03\\_2013-12-18\\_kuv\\_005\\_fi.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/ehi/2013/03/ehi_2013_03_2013-12-18_kuv_005_fi.html). Luettu: 23.2.2014
  
- [10] Monto, Sari. Investointihankkeiden elinkaarilaskelmat AIMO/TIMO. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2013
  
- [11] Teknologiateollisuus Ry. Näin vertaillet ledivalaisimia. Helsinki. Teknologiateollisuus Ry. 2013. ISBN 978-952-5998-42-9
  
- [12] Nylund-Group Ab. Nylund tunnistinluettelo. Suomi. Nylund-Group Ab. 2012.
  
- [13] Produal Oy . Tekninen esite. LUX 34 ja LUX 34-100 valoisuus- ja lämpötilalähetin. Verkkodokumentti:  
<http://www.produal.fi/folders/Files/Tekniset%20esitteet/LUX34.pdf>  
Julkaistu 28.12.2010. Luettu 28.3.2014
  
- [14] Männistö, Arto. Valon värin ja värilämpötilan säätö ja niiden vaikutus ihmiseen. Tampere. Tampereen ammattikorkeakoulu. 2011.
  
- [15] Fintras Oy. Edistynyttä LED tekniikkaa moniin käyttötarkoituksiin. Verkkodokumentti. <http://www.fintras.fi/ledvalonheittimet> Luettu 31.3.2014
  
- [16] Easyled Oy. Pro Series Installation Guide. Verkkodokumentti.  
[http://www.easyled.fi/sites/default/files/esitteet/pro\\_series\\_installation\\_guide.pdf](http://www.easyled.fi/sites/default/files/esitteet/pro_series_installation_guide.pdf) Luettu 31.3.2014
  
- [17] [int.rsdelivers.com](http://int.rsdelivers.com). LED GU10 lamp 4.5W daylight 35 deg. Verkkodokumentti. <http://int.rsdelivers.com/product/osram-lighting-systems/parapar1620dgu10/led-gu10-lamp-45w-daylight-35-deg/6804467.aspx> Luettu 31.3.2014

- [18] [www.lampputieto.fi](http://www.lampputieto.fi). Hehkulamput. Verkkodokumentti.  
<http://www.lampputieto.fi/lamput/lampputyypit/hehkulamppu/> Luettu 31.3.2014.
- [19] Airam Oy. Direktiiviä koskevat kysymykset. Verkkodokumentti.  
<http://www.airam.fi/tuotteet/lamput/lamppuinfo/eu-direktiivi/> Luettu 31.3.2014
- [20] [www.lampputieto.fi](http://www.lampputieto.fi). Halogeenilamput. Verkkodokumentti.  
<http://www.lampputieto.fi/lamput/lampputyypit/halogeenilamppu/> Luettu 31.3.2014
- [21] Airam Oy. Monimetallilamput. Verkkodokumentti.  
<http://www.airam.fi/tuotteet/lamput/purkauslamput/monimetallilamput/> Luettu 31.3.2014
- [22] Lamppu.fi. AVIA MTH-478 250W Monimetallivalaisin. Verkkodokumentti. <http://www.lamppu.fi/product/2362/avia-mth-478-250w-monimetallivalaisin> Luettu 31.3.2014
- [23] VP-Lux Lightning for life. Echo valaisin. Verkkodokumentti.  
<http://www.vplux.fi/tuotteet.html?id=135/203#> Luettu 31.3.2014
- [24] Taloon.com. Teollisuusvalaisin 6242.400.V3-HST/HIT 400W. Verkkodokumentti. <http://www.taloon.com/teollisuusvalaisin-6242.400.v3-hst-hit-400w/S-4400018/dp>. Luettu 31.3.2014
- [25] Visio: Jyväskylä on johtava kaupunki uuden taajamavalaistuksen oivaltajana. Verkkodokumentti. <http://kak.znate.ru/docs/index-52261.html> Luettu 31.3.2014

## LIITE 1 Eri valaisinvaihtoehtojen Dialux – mitoitukset



Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 5.900 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:429

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	182	7.65	368	0.042
Lattia	20	136	0.90	333	0.007
Katto	27	20	12	25	0.608
Seinät (6)	31	28	9.82	150	/

### Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

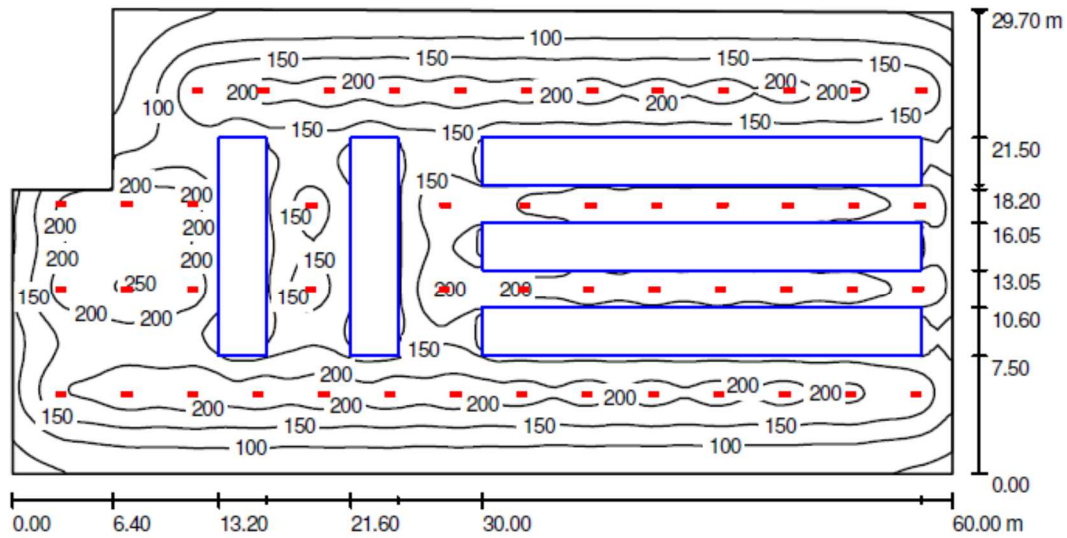
### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	27	ELEKTROSKANDIAFI 4420225 H-900/HIT250/HE/SL (1.000)	18877	25000	275.0
Yhteensä: 509690			Yhteensä: 675000		7425.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $4.36 \text{ W/m}^2 = 2.39 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $1703.04 \text{ m}^2$ )



## LIITE 1 Eri valaisinvaihtoehtojen Dialux – mitoitukset



Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 5.900 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:429

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	153	21	257	0.137
Lattia	20	114	0.71	232	0.006
Katto	27	19	11	24	0.577
Seinät (6)	31	36	8.72	570	/

### Käyttötaso:

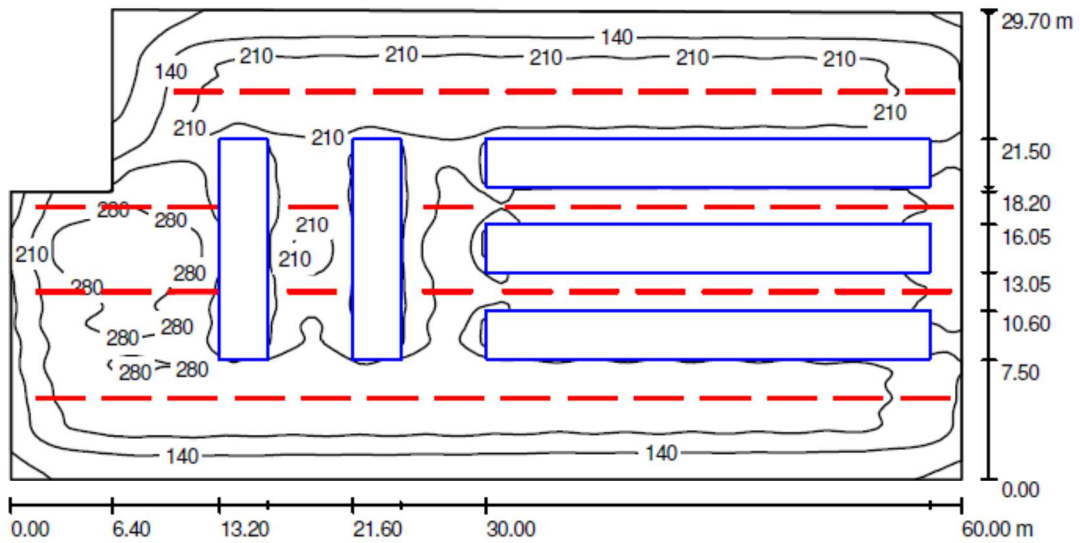
Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	50	Easy LED PRO 500 Oslon 120 - 80degFrost (4000K CRI72 nominal) (1.000)	9450	9450	99.0
Yhteensä:			472500	Yhteensä: 472500	4950.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $2.91 \text{ W/m}^2 = 1.90 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $1703.04 \text{ m}^2$ )

## LIITE 1 Eri valaisinvaihtoehtojen Dialux – mitoitukset



Tilan korkeus: 10.000 m, Asennuskorkeus: 5.900 m

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava  
1:429

Pinta	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Käyttötaso	/	198	30	350	0.154
Lattia	20	148	1.23	345	0.008
Katto	27	25	15	32	0.581
Seinät (6)	31	52	14	488	/

### Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m  
Rasteri: 128 x 128 Pisteet  
Reuna-alue: 0.000 m

### Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	$\Phi$ (Valaisin) [lm]	$\Phi$ (Lamput) [lm]	P [W]
1	50	Alpilux optic steel lamella grid AMR449A + HSAM1135 (1.000)	12880	17200	204.0
Yhteensä:			644010	Yhteensä: 860000	10200.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma:  $5.99 \text{ W/m}^2 = 3.03 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Pohjapinta-ala:  $1703.04 \text{ m}^2$ )

## LIITE 2(1). Eri valaisinvaihtoehtojen kannattavuuden tarkastelu Excel – laskurilla

### Valaistustekniikka: Loisteputki

#### Laskennan lähtötiedot

Investointi [I]	7625
Energiansäästö [MWh/a]	28,2
Energian hinta [€/MWh]	85
Energian hinnan muutoksen korkokiihti	0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus	0,1
Korjausvelka [I]	0

#### Laskennan tulokset

Takaisinmaksuaika, korollinen	4,0
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu	3,8
Sisäinen korko IRR	23 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu	33 %

#### Energiatohokkuusinvestoinnin kannattavuustarkastelu

Energian hinnan muutosta ei huomioitu

Ytosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energiansäästö [MWh/a]		28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
Energian hinta [€/MWh]		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Säästö [I/a]		2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397
Investointi [I]	-7625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettokassavirta [I]	-7625	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397	2397
Nettokassavirta, kumulatiivinen [I]	-7625	-5228	-2831	-434	1963	4360	6757	9154	11551	13948	16345
Diskontattu nettokassavirta [I]	-7625	2179	1981	1801	1637	1488	1353	1230	1118	1017	924
Diskontattu kumulat. Nettokassavirta [I]	-7625	-5446	-3465	-1664	-27	1462	2815	4045	5163	6179	7104
Korollinen takaisinmaksuaika	4,0				4,018						

#### Energiatohokkuusinvestoinnin kannattavuustarkastelu

Energian hinnan muutos huomioitu

Ytosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energiansäästö [MWh/a]		28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2	28,2
Energian hinta [€/MWh]		85	88	92	96	100	104	108	113	117	122
Säästö [I/a]		2397	2495	2598	2704	2815	2930	3051	3176	3306	3441
Investointi [I]	-7625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettokassavirta [I]	-7625	2397	2495	2598	2704	2815	2930	3051	3176	3306	3441
Nettokassavirta, kumulatiivinen [I]	-7625	-5228	-2733	-135	2569	5384	8314	11365	14540	17846	21287
Diskontattu nettokassavirta [I]	-7625	2179	2062	1952	1847	1748	1654	1565	1481	1402	1327
Diskontattu kumulat. Nettokassavirta [I]	-7625	-5446	-3384	-1432	415	2163	3817	5382	6864	8266	9592
Korollinen takaisinmaksuaika, energian hinta huomioitu	3,8			3,7754							

## LIITE 2(2). Eri valaisinvaihtoehtojen kannattavuuden tarkastelu Excel – laskurilla

### Valaistustekniikka: Monimetalli

#### Laskennan lähtötiedot

Investointi [I]	10301
Energiansäästö [MWh/a]	40,1
Energian hinta [€/MWh]	85
Energian hinnan muutoksen korkoteijä	0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus	0,1
Korjausvelka [I]	0

#### Laskennan tulokset

Takaisinmaksuaika, korollinen	3,8
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu	3,6
Sisäinen korko IRR	31 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu	35 %

#### Energiatohokkuusinvestoinnin kannattavuustarkastelu

Energian hinnan muutosta ei huomioitu

Vuosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energiansäästö [MWh/a]		40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1
Energian hinta [€/MWh]		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Säästö [I/a]		3408,5	3408,5	3408,5	3409	3408,5	3408,5	3408,5	3408,5	3408,5	3408,5
Investointi [I]	-10301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettokassavirta [I]	-10301	3408,5	3408,5	3408,5	3409	3408,5	3408,5	3408,5	3408,5	3408,5	3408,5
Nettokassavirta, kumulatiivinen [I]	-10301	-6893	-3484	-75,5	3333	6741,5	10150	13559	16967	20376	23784
Diskontattu nettokassavirta [I]	-10301	3099	2817	2561	2328	2116	1924	1749	1590	1446	1314
Diskontattu kumulat. Nettokassavirta [I]	-10301	-7202	-4385	-1825	503	2620	4544	6293	7883	9329	10643
Korollinen takaisinmaksuaika	3,8										
				3,7837							

#### Energiatohokkuusinvestoinnin kannattavuustarkastelu

Energian hinnan muutos huomioitu

Vuosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energiansäästö [MWh/a]		40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1	40,1
Energian hinta [€/MWh]		85	88	92	96	100	104	108	113	117	122
Säästö [I/a]		3408,5	3548	3694	3845	4003	4167	4338	4516	4701	4894
Investointi [I]	-10301	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettokassavirta [I]	-10301	3408,5	3548	3694	3845	4003	4167	4338	4516	4701	4894
Nettokassavirta, kumulatiivinen [I]	-10301	-6893	-3344	349	4195	8197	12364	16702	21218	25919	30812
Diskontattu nettokassavirta [I]	-10301	3099	2932	2775	2626	2485	2352	2226	2107	1994	1887
Diskontattu kumulat. Nettokassavirta [I]	-10301	-7202	-4270	-1495	1132	3617	5969	8195	10302	12295	14182
Korollinen takaisinmaksuaika, energian hinta huomioitu	3,6										
				3,5692							

## LIITE 2(3). Eri valaisinvaihtoehtojen kannattavuuden tarkastelu Excel – laskurilla

### Valaistustekniikka: LED

#### Laskennan lähtötiedot

Investointi [I]	22125
Energiansäästö [MWh/a]	50,7
Energian hinta [€/MWh]	85
Energian hinnan muutoksen korkoteijä	0,041
Laskentakorko, tuottovaatimus	0,1
Korjausvelka [I]	0

#### Laskennan tulokset

Takaisinmaksuaika, korollinen	7,6
Takaisinmaksuaika, korollinen, energian hinnan muutos huomioitu	6,6
Sisäinen korko IRR	14 %
Sisäinen korko IRR, energian hinnan muutos huomioitu	18 %

### Energiatohokkuusinvestoinnin kannattavuustarkastelu

Energian hinnan muutosta ei huomioitu

Vuosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energiansäästö [MWh/a]		50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7
Energian hinta [€/MWh]		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
Säästö [I/a]		4309,5	4309,5	4309,5	4310	4309,5	4309,5	4309,5	4309,5	4309,5	4309,5
Investointi [I]	-22125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettokassavirta [I]	-22125	4309,5	4309,5	4309,5	4310	4309,5	4309,5	4309,5	4309,5	4309,5	4309,5
Nettokassavirta, kumulatiivinen [I]	-22125	-17816	-13506	-9197	-4887	-577,5	3732	8041,5	12351	16661	20970
Diskontattu nettokassavirta [I]	-22125	3318	3562	3238	2943	2676	2433	2211	2010	1828	1661
Diskontattu kumulat. Nettokassavirta [I]	-22125	-18207	-14646	-11408	-8464	-5789	-3356	-1145	866	2694	4355
Korollinen takaisinmaksuaika	7,6							7,5693			

### Energiatohokkuusinvestoinnin kannattavuustarkastelu

Energian hinnan muutos huomioitu

Vuosi	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energiansäästö [MWh/a]		50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7
Energian hinta [€/MWh]		85	88	92	96	100	104	108	113	117	122
Säästö [I/a]		4309,5	4486	4670	4862	5061	5268	5484	5709	5943	6187
Investointi [I]	-22125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nettokassavirta [I]	-22125	4309,5	4486	4670	4862	5061	5268	5484	5709	5943	6187
Nettokassavirta, kumulatiivinen [I]	-22125	-17816	-13329	-8659	-3798	1263	6532	12016	17725	23669	29856
Diskontattu nettokassavirta [I]	-22125	3318	3708	3509	3321	3142	2974	2814	2663	2521	2385
Diskontattu kumulat. Nettokassavirta [I]	-22125	-18207	-14500	-10931	-7670	-4528	-1554	1260	3924	6444	8830
Korollinen takaisinmaksuaika, energian hinta huomioitu	6,6						6,5522				